



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 100 39 144 C 1

51 Int. Cl. 7:
B 22 F 3/105
C 22 C 1/04

21 Aktenzeichen: 100 39 144.3-24
22 Anmeldetag: 7. 8. 2000
43 Offenlegungstag: -
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 22. 11. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

74 Vertreter:
Tegel, L., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 81925
München

72 Erfinder:
Abdolreza, Simichi, Dr., 28359 Bremen, DE;
Petzoldt, Frank, Dr., 27578 Bremerhaven, DE; Pohl,
Haiko, 28757 Bremen, DE; Löffler, Holger, 28201
Bremen, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 197 21 595 A1
DE 91 17 128 U1
EP 07 82 487 B1

54 Verfahren zur Herstellung präziser Bauteile mittels Lasersintern

57 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung präziser Bauteile durch Lasersintern eines Pulvermaterials, das aus einer Mischung von mindestens zwei Pulverelementen besteht und ist dadurch gekennzeichnet, dass die Pulvermischung durch den Hauptbestandteil Eisenpulver und weitere Pulverlegierungselemente gebildet ist, die in elementarer, vorlegierter oder teilweise vorlegierter Form vorliegen, und dass im Verlaufe des Lasersinterprozesses aus diesen Pulverelementen eine Pulverlegierung entsteht. Es werden folgende Pulverlegierungselemente, jedes für sich oder in beliebiger Kombination dem Eisenpulver zugegeben: Kohlenstoff, Silizium, Kupfer, Zinn, Nickel, Molybdän, Mangan, Chrom, Kobalt, Wolfram, Vanadium, Titan, Phosphor, Bor.

DE 100 39 144 C 1

DE 100 39 144 C 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung präziser Bauteile gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

[0002] Ein derartiges Verfahren ist aus der EP 0 782 487 B1 bekannt. Danach wird ein Bauteil nach dem Verfahren des Lasersinterns durch Sintern von Metallpulvermischungen mit drei Komponenten hergestellt. Dabei ist das wichtigste Ziel der Erfindung die Erhöhung der Schmelztemperatur des fertigen Bauteiles.

[0003] Bei der Herstellung von metallischen Bauteilen aus konventionellen Pulvermischungen besteht das Problem, dass die Porosität der hergestellten Bauteile relativ hoch ist und dass die Erhöhung der Dichte der fertigen Bauteile mit dem Nachteil einer niedrigen Einsatztemperatur dieser Bauteile verbunden ist.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, metallische Bauteile im Verfahren des Lasersinterns kostengünstig mit sehr guten mechanischen Eigenschaften und in hoher Qualität herzustellen.

[0005] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die Unteransprüche stellen vorteilhafte Weiterbildungen dar.

[0006] Danach besteht die Pulvermischung mit der im Verfahren des Lasersinterns Bauteile hergestellt werden sollen, aus dem Hauptbestandteil Eisen und weiteren Pulverbestandteilen, die in elementarer, vorlegierter oder in teilweise vorlegierter Form vorliegen können. Aus diesen Pulverlegierungselementen entsteht im Verlaufe des Lasersinterprozesses eine Pulverlegierung.

[0007] Dem Hauptbestandteil Eisen der Pulvermischung werden je nach Anforderungen an das Fertigbauteil oder das Herstellungsverfahren folgende weitere Pulverelemente einzeln oder in beliebiger Kombination zugegeben: Kohlenstoff C, Silizium Si, Kupfer Cu, Zinn Sn, Nickel Ni, Molybdän Mo, Mangan Mn, Chrom Cr, Kobalt Co, Wolfram W, Vanadium V, Titan Ti, Phosphor P, Bor B.

[0008] Diese Pulverbestandteile können einzeln oder in beliebiger Kombination, je nach Anforderungen an die Eigenschaften des Fertigbauteils oder des Herstellungsverfahrens, in folgenden Mengen zugegeben werden: Kohlenstoff C: 0,01–2 M.-%, Silizium Si: bis zu 1 M.-%, Kupfer Cu: bis zu 10 M.-%, Zinn Sn: bis zu 2 M.-%, Nickel Ni: bis zu 10 M.-%, Molybdän Mo: bis zu 6 M.-%, Mangan Mn: bis zu 2 M.-% oder 10–13 M.-%, Chrom Cr: bis zu 5 M.-% oder 12–18 M.-%, Kobalt Co: bis zu 2 M.-%, Wolfram W bis zu 5 M.-%, Vanadium V: bis zu 1 M.-%, Titan Ti: bis zu 0,5 M.-%, Phosphor P: bis zu 1 M.-%, Bor B: bis zu 1 M.-%.

[0009] Die Erfindung sieht vor, dass die einzelnen Pulverbestandteile in elementarer, legierter oder teilweise legierter Form vorliegen. Dabei kann es sich um Pulverteilchen handeln, die mit dem Hauptbestandteil Eisen legiert sind. In diesem Fall liegen sie als z. B. Ferrobör, Ferrochrom, Ferrophosphor oder Eisensilizid vor. Es können auch weitere Pulverelemente in legierter oder vorlegierter Form zugegeben werden, wie z. B. Kupferphosphid, die aber im übrigen hier nicht einzeln aufgezählt werden. Es ist auch vorgesehen, dass die aus den o. g. Pulverbestandteilen gebildete Pulvermischung in einem separaten Verfahrensschritt vorlegiert wird.

[0010] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung besteht die Pulvermischung aus wasser- oder gasverdünsten Pulvern, Karbonypulvern, gemahlenden Pulvern oder einer Kombination aus diesen.

[0011] Es ist vorgesehen, dass die Pulverpartikel der Pulvermischung eine Größe < 50 µm, bevorzugt zwischen

20–30 µm aufweisen.

[0012] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist auch vorgesehen, dass die Pulverpartikelgröße zwischen 50 und max. 100 µm liegen kann. Diese Partikelgröße ist dann besonderes vorteilhaft, wenn die Bauteile schnell hergestellt werden sollen, d. h. wenn die Pulverschichten im Lasersinterverfahren eine Schichtdicke von max. 100 µm aufweisen, bei welcher Schichtdicke das Verfahren relativ schnell durchgeführt werden kann.

[0013] Es hat sich herausgestellt, dass eine Partikelverteilung von 30% < 20 µm und einer Restmenge aus Partikeln der Größe zwischen 20 und 60 µm zu besonderen guten Verfahrensergebnissen führt, da dadurch hohe Schüttdichte bei gleichzeitig guter Fließfähigkeit erreicht wird.

[0014] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung nach Anspruch 9 ist vorgesehen, dass der Hauptbestandteil der Pulvermischung, das Eisenpulver, einen Anteil zwischen 5 und 20% von Partikeln der Größe < 10 µm aufweist und die Restmenge der Pulverpartikel eine Größe zwischen 50 und 60 µm aufweist.

[0015] Durch die optimierte Wahl der Belichtungsparameter kann die Dichte der Bauteile nach dem Lasersintern so eingestellt werden, dass entweder kurze Bauzeiten mit niedrigerer Bauteildichte oder hohe Eigenschaftsanforderungen (hohe Dichten bei längeren Bauzeiten) berücksichtigt werden.

[0016] Die technischen Anwendungsgebiete der Erfindung bestehen in der Herstellung metallischer Prototypen (Rapid Prototyping), von Einzelteilen (Direct Parts) oder Werkzeugen (z. B. Formeinsätze für den Kunststoffspritzguss oder Metalldruckguss – Rapid Tooling) mit dem generativen Verfahren Direktes Metall Lasersintern. Aufgrund der sehr guten mechanischen Eigenschaften können solche Teile im Formen- und Werkzeugbau sowie im Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbau verwendet werden.

[0017] Das erfindungsgemäße Verfahren wird im Folgenden anhand einiger Ausführungsbeispiele näher beschrieben:

Beispiel 1

[0018] Konventionelle Pulver werden in der gewünschten Legierungszusammensetzung miteinander gemischt, wobei die Pulvereigenschaften dabei so eingestellt werden, dass sie den Anforderungen an das Fertigbauteil oder das Verfahren entsprechen. Es ist wesentlich, dass ein gutes Fließverhalten bei gleichzeitig hoher Schüttdichte erreicht wird. Die Rolle der Zusatzstoffe besteht in der Einstellung bestimmter mechanischer, physikalischer und chemischer Eigenschaften des fertigen Bauteils. Weiterhin kann die Rolle der Zusatzstoffe in der Erhöhung des Absorptionsvermögens des Eisenpulvers von Laserstrahlen, der Verringerung des Schmelzpunktes des Pulversystems, dem Einsatz niedrigschmelzender Elemente/Legierungen, der Verringerung der Oberflächenspannung und Viskosität sowie der Desoxidation zur Verbesserung der Sinteraktivität zum Erzielen hoher Dichten bestehen. Z. B. bewirkt Kohlenstoff als feiner elementarer Graphit (Pulvergröße 1–2 µm) die Erhöhung des Absorptionsvermögens von Eisen-/Stahlpulver und die Verringerung des Schmelzpunktes der Pulvermischung durch eutektische Reaktion und Desoxidation. Kupfer- oder Bronzepulver mit einer Pulvergröße von kleiner 45 µm fungiert als ein niedrigschmelzendes Element bzw. eine niedrigschmelzende Verbindung und verbessert die Sinteraktivität. Phosphor und Bor verringern die Oberflächenspannung und die Viskosität der Schmelze, die während des Lasersinterprozesses entsteht, um durch das Vermeiden der Kugelbildung eine gute Oberflächenqualität zu erzielen. Die Rolle der weiteren Pulver-Legierungselemente kann sowohl in der

Einstellung gewünschter mechanischer Eigenschaften als auch in der Reaktion mit anderen Elementen zur verstärkten Schmelzebildung (Fe-C-Mo) liegen. Die Pulverelemente Kohlenstoff, Molybdän, Chrom, Mangan, Nickel bewirken die hohen mechanischen Eigenschaften des fertigen Bauteils. Phosphor, Bor, Kupfer und Zinn bewirken eine hohe Sinteraktivität. Durch die Wahl geeigneter Lasersinterparameter kann die Dichte zwischen 70 und 95% der theoretischen Dichte variiert werden.

[0019] Beim direkten Lasersintern der beschriebenen Pulvermischung werden Dichten von 70–95% der theoretischen Dichte erzielt. Die maximale Dichte hängt von der Belichtungsstrategie und der chemischen Zusammensetzung, der Legierungsweise sowie den Eigenschaften (Pulverform, Partikelverteilung, Pulvergröße) der verwendeten Pulvermischung ab: z. B. kann mit den Lasersinterparametern 215 W cw CO₂-Laser mit der Baugeschwindigkeit von 5,4 cm³/h eine Dichte von 92 ± 1% der theoretischen Dichte für Pulver, bestehend aus (in M.-%): 0,7–1 C, 2–4 Cu, bis zu 1,5 Mo, bis zu 2 Ni, bis zu 0,4 Sn, 0,15 B, erreicht werden.

Beispiel 2

[0020] Eine Pulvermischung bestehend aus Eisen, 0,8 M.-% C, 0,3 M.-% B wird mit den Lasersinterparametern 215 W CO₂-Laser, 100 mm/s Laserscangeschwindigkeit, 0,3 mm Laserspurbreite bei einer Schichthöhe von 100 µm zu einer Dichte von 80–85% der theoretischen Dichte lasergesintert. Die Bauteilhärte nach dem Lasersintern beträgt ca. 200 HV30.

Beispiel 3

[0021] Eine Pulvermischung bestehend aus Eisen, 0,7–1 M.-% C, 2–4 M.-% Cu, 1,5 M.-% Mo, 0,15 M.-% B wird mit den Lasersinterparametern 215 W CO₂-Laser, 100 mm/s Laserscangeschwindigkeit, 0,3 mm Laserspurbreite bei einer Schichthöhe von 50 µm zu einer Dichte von 92 ± 1% der theoretischen Dichte lasergesintert. Die Bauteilhärte nach dem Lasersintern beträgt ca. 370 HV30.

Beispiel 4

[0022] Eine Pulvermischung bestehend aus Eisen, 1–1,2 M.-% C, 2–4 M.-% Cu, 0,4 M.-% P wird mit den Lasersinterparametern 215 W CO₂-Laser, 100 mm/s Laserscangeschwindigkeit, 0,3 mm Laserspurbreite bei einer, im Vergleich zum ersten Beispiel, verringerten Schichthöhe von 50 µm zu einer Dichte von 90 ± 1% der theoretischen Dichte lasergesintert.

Beispiel 5

[0023] Eine Eisenpulvermischung mit 0,8 M.-% Kohlenstoff ergibt nach dem Lasersintern Rauheitswerte von R_Z 150 µm und R_a 29 µm. Wird der Kohlenstoffanteil auf 1,6 M.-% erhöht, verbessern sich die Rauheitswerte auf R_Z 60 µm und R_a 19 µm. Pulvermischungen mit sehr guten mechanischen Eigenschaften nach dem Lasersintern weisen Rauheitswerte von R_Z 75 µm und R_a 11 µm auf.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung präziser Bauteile durch Lasersintern eines Pulvermaterials, das aus einer Mischung von mindestens zwei Pulverelementen besteht, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pulvermischung durch den Hauptbestandteil Eisenpulver und weitere

Pulverlegierungselemente gebildet ist, die in elementarer, vorlegierter oder teilweise vorlegierter Form vorliegen, wobei im Verlaufe des Lasersinterprozesses aus diesen Pulverelementen eine Pulverlegierung entsteht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass folgende, in elementarer, legierter oder vorlegierter Form vorliegende, Pulverelemente jedes für sich oder in beliebiger Kombination dem Eisenpulver zugegeben werden: Kohlenstoff, Silizium, Kupfer, Zinn, Nickel, Molybdän, Mangan, Chrom, Kobalt, Wolfram, Vanadium, Titan, Phosphor, Bor.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulverelemente jedes für sich oder in beliebiger Kombination in folgenden Mengen zugegeben werden: Kohlenstoff: 0,01–2 M.-%, Silizium: bis zu 1 M.-%, Kupfer: bis zu 10 M.-%, Zinn: bis zu 2 M.-%, Nickel: bis zu 10 M.-%, Molybdän: bis zu 6 M.-%, Mangan: bis zu 2 M.-% oder 10–13 M.-%, Chrom: bis zu 5 M.-% oder 12–18 M.-%, Kobalt: bis zu 2 M.-%, Wolfram bis zu 5 M.-%, Vanadium: bis zu 1 M.-%, Titan: bis zu 0,5 M.-%, Phosphor: bis zu 1 M.-%, Bor: bis zu 1 M.-%.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulverelemente in legierter oder vorlegierter Form als Ferrochrom, Ferrobör, Ferrophosphor, Kupferphosphid oder Eisensilizid vorliegen.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulvermischung aus gasverdünsten Pulvern, Karbonypulvern, gemahlenen Pulvern oder einer Kombination davon besteht.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulvermischung aus einer Menge von Pulverpartikeln mit einer Größe kleiner 50 µm, bevorzugt zwischen 20–30 µm besteht.

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulvermischung aus Partikeln mit einer Größe 50–max. 100 µm besteht.

8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1–5, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulvermischung zu 30% aus Partikeln besteht, die kleiner sind als 20 µm und dass die Restmenge aus Partikeln mit der Größe zwischen 20 und 60 µm besteht.

9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1–5, dadurch gekennzeichnet, dass der Hauptbestandteil der Pulvermischung, das Eisenpulver, zwischen 5 und 20% der Partikel der Größe kleiner 10 µm aufweist und dass die Restmenge aus Partikeln der Größe 50–60 µm besteht.

10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter des Lasersintervorganges wie Laserenergie, Lasergeschwindigkeit, Spurbreite und Belichtung, in Abhängigkeit von den gewünschten Eigenschaften des Fertigteiltes eingestellt werden.

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)